

文章编号:1004-9045(2007)04-0306-05

一次华北冷涡暴雨过程的诊断分析

李银娥, 谌 伟, 张萍萍

(武汉中心气象台, 武汉 430074)

摘 要: 利用常规资料、自动站资料和 T213 $1^\circ \times 1^\circ$ 格点再分析场资料对 2007 年 7 月 1~2 日湖北省的暴雨天气过程进行了分析。结果表明这次暴雨过程是在有利的高、中、低层系统配置下, 由华北冷涡带动干冷空气南下, 与副热带高压外围的暖湿气流在江淮流域交汇而形成的。干冷空气南侵在暴雨区北侧形成了明显的湿度锋和能量锋, 在低层辐合区造成明显的湿度锋锋生触发了中尺度系统的发生发展。

关键词: 华北冷涡; 干冷空气; 湿度锋

中图分类号: P458.1+21.1 **文献标识码:** A

1 引言

2007 年, 湖北省梅雨期暴雨过程频繁。对江淮流域梅雨期暴雨我国气象专家已做了大量的研究工作^[1-9], 得出了许多有意义的结论, 对预报员认识梅雨期暴雨提供了很多的参考。随着科技的进步, 人们对暴雨的预报能力也进一步提高, 但是对于 7 月 1~2 日湖北东部、北部出现的暴雨和大暴雨天气过程, 不仅客观预报未报出来、就是主观预报在认识上也有很大的难度。本文利用常规资料、自动站资料和 T213 $1^\circ \times 1^\circ$ 格点再分析场资料, 对这次暴雨过程进行多方面的诊断和分析, 以期今后类似暴雨过程的预报提供参考。

2 雨情简介

2007 年 7 月 1~2 日湖北东部、北部先后出现了暴雨, 部分地区大暴雨的强天气过程。此次降水持续时间不长, 但强度大, 降水区集中。7 月 1 日 08 时至 2 日 08 时湖北 24 h 雨量超过 50 mm 的有 21 个站, 其中广水、大悟、孝感、京山、钟祥、黄陂、鄂州、黄石等站出现了大暴雨(图略)。

湖北省自动雨量站资料显示, 鄂东的这次强降水过程于 1 日 14 时从广水开始发生, 1 h 雨量为 18 mm, 然后向东、向南发展, 强度加强, 在降水生命期中, 连续 8 h 最强雨强超过 40 mm, 2 日 08 时以后降水区向西北移动, 强度减弱。

3 背景场

影响这次降水的系统包括南亚高压、西太平洋副

热带高压、华北冷涡、中低层切变线、低空急流等, 其中华北冷涡的加强、移动为这次暴雨过程的发生提供了有利的条件。

6 月 30 日至 7 月 1 日 500 hPa 高空图上, 副热带高压稳定维持, 脊线位于 25°N 附近, 588 线位于福建、浙江一带; 在河套东部和华北西部地区有华北冷涡形成并东移, 冷涡南部低槽带动干冷空气东移南下和副热带高压外围的暖湿气流在江淮流域交汇, 造成湖北东北部、河南西南部 and 安徽中部的强降水。30 日 08 时, 华北冷涡加强形成闭合环流, 冷涡底部低槽南插到湖北西部; 20 时华北冷涡东移, 冷槽南段仍位于湖北西部, 北段随着低涡东移, 从而冷槽由南北向转为东北—西南向。7 月 1 日, 华北冷涡带动冷槽继续向东北方向移动, 冷空气随着低槽移到华北地区, 继续南下影响湖北, 湖北东北部的强降水开始发生。7 月 2 日, 副热带高压加强西伸, 低槽东移出海, 湖北东部转为副热带高压控制, 降水逐渐减弱、结束。

700 hPa 和 850 hPa 上, 同样存在华北冷涡, 在西南地区有西南低涡, 其强度较弱, 前侧暖切变伸到湖北西部与华北冷涡的冷切变相连, 在江淮流域形成一条长的切变线。6 月 30 日至 7 月 1 日在 $20^\circ \sim 30^\circ \text{N}$, $110^\circ \sim 120^\circ \text{E}$ 之间有 $\geq 12 \text{ m/s}$ 的西南急流。850 hPa 上, 急流轴南段较宽, 位于华南地区, 北段位于江西西部、安徽南部, 湖北位于低空急流中心的左前方。在 850 hPa 涡度场上, 暴雨期间, 湖北位于涡度值 $\geq 2 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的辐合区(图 1)。

200 hPa 上, 暴雨前期, 南亚高压位置偏西, 6 月 30 日其东部位于西南地区, 与东北地区高压之间的切

收稿日期: 2007-08-26; 定稿日期: 2007-10-20

基金项目: 中国气象局新技术重点推广项目“长江中游气象水文预报与服务系统研究”(CMATG2006Z08)资助

作者简介: 李银娥, 女, 1972 年生, 工程师, 主要从事天气分析及预报。E-mail: liyine@sina.com

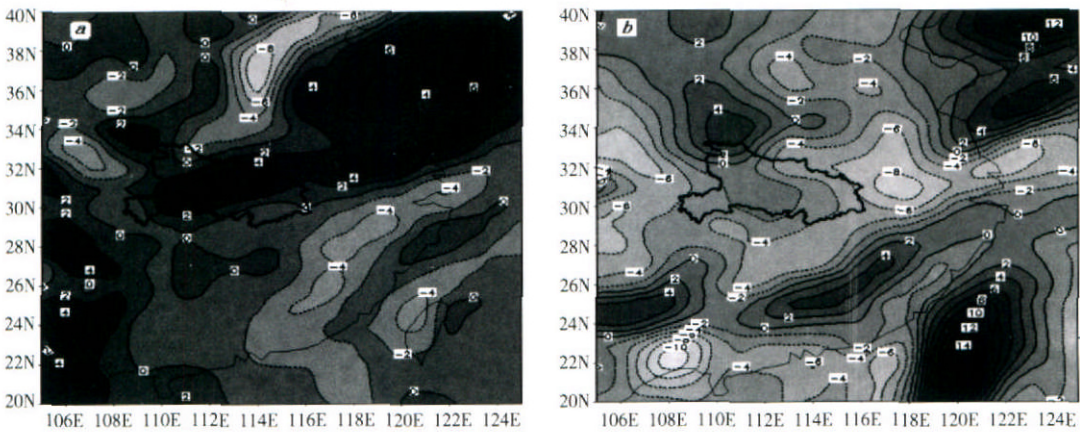


图 1 7 月 1 日 20 时 850 hPa(a)及 200 hPa(b)涡度场

变位于 110°E 附近。在涡度场上, 湖北中西部为正涡度区, 高空辐合。7 月 1 日 08 时, 南亚高压东侧移到 116°E 附近, 湖北中西部地区由正涡度转为负涡度。1 日 20 时, 随着南亚高压进一步东移, 湖北东北部、河南西南部和安徽位于涡度值 $\geq -3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ 的负涡度中心, 高层辐散。200 hPa 负涡度区位置相对应着 850 hPa 正涡度区, 低层辐合流场上空有辐散流场叠置, 抬升力加强, 造成了强对流性天气的发生。

4 中尺度系统

湖北省自动站资料显示, 江汉平原北部和鄂东地区的强降水从 1 日 14 时广水开始, 至 15 时广水 1 h 降水量为 18 mm, 对应地面风场上随州—孝感—荆门一带有一条中尺度切变线。此后中尺度切变线北侧前端广水附近和后端钟祥附近各有一个中尺度雨团发生, 广水附近中尺度雨团 16~17 时连续 2 小时雨强超过 40 mm, 而钟祥附近中尺度雨团在 17 时雨强超过

40 mm。这两个中尺度雨团逐渐向东移, 在孝感附近合并, 于 20 时达到最强, 孝感 1 h 雨量为 59 mm, 加密站资料显示, 中心最大雨量为 74 mm。19 时, 在该中尺度切变线的右前方浠水附近有一个新的中尺度雨团生成, 中尺度切变线东移过程中发展为中尺度辐合中心, 在黄石附近强降水发展, 连续 4 h 中心雨强超过 40 mm, 造成该地区出现大暴雨天气过程。7 月 2 日 00 时以后中尺度辐合中心消失, 降水强度也随之减弱。

雷达回波 (图 2) 的演变也同样反映了相同的情况, 14 时开始广水有强降水回波 A 生成和发展; 16 时回波 A 加强, 广水 1 h 出现了 48 mm 的降水, 同时荆门北部有新的降水回波 B 生成; A、B 两回波 19 时在孝感西部合并为回波 C, 同时在黄石附近有回波 D 生成, 此回波生命史长, 直到 7 月 2 日 00 时才减弱消失, 这与上述中尺度辐合中心的演变一致。可见中尺度系统直接影响造成这次暴雨天气的发生。

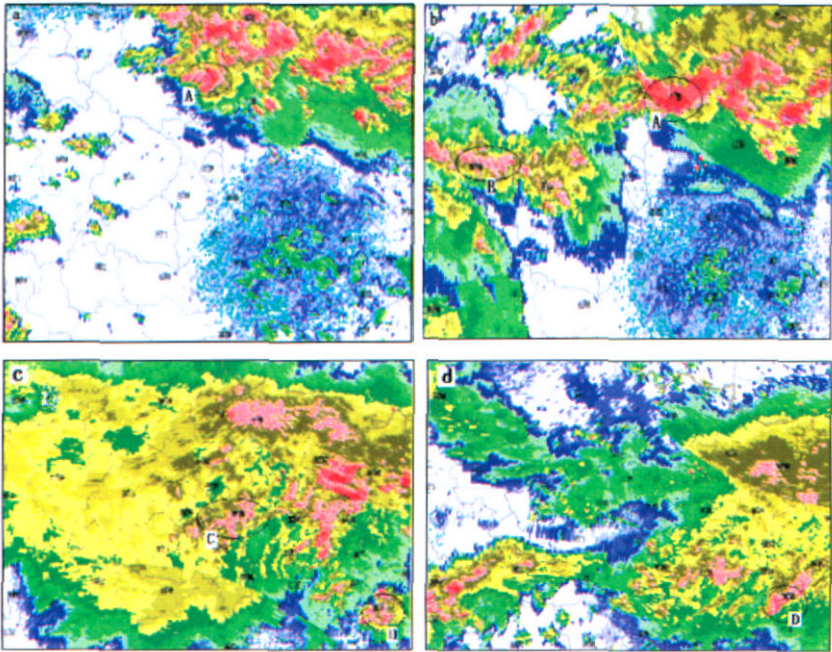


图 2 7 月 1 日武汉多普勒雷达拼图 (a)14:30;(b)16:30;(c)19:30;(d)22:30

5 水汽条件

这次暴雨过程期间, 500 hPa 副高外围强的西南气流位于鄂东—皖南—苏南沿海一带, 而中低层 700 hPa 和 850 hPa 西南急流轴位于华南到华中东部的赣西、皖南一带。三层强的偏南气流为江淮流域暴雨的发生提供了充足的水汽条件。

将 850、700 和 500 hPa 的水汽通量相加 (图 3), 可以看出, 6 月 30 日至 7 月 1 日, 存在一条从华南地区向东北伸展至皖、苏南部一带的水汽通量大值带, 有南、北两个大值中心。暴雨区位于北大值中心的左

边界等值线密集区。

对 700 和 850 hPa 水汽通量散度作比较分析 (图 4), 可以发现: 在暴雨发生前, 两层的水汽通量辐合、辐散位置基本一致: 6 月 30 日 20 时湖北大部地区为水汽通量辐散区, 湖北大部没有强降水发生; 7 月 1 日 08 时湖北中东部为水汽通量辐合区, 在辐合区北端点附近开始出现强降水。暴雨发生时, 1 日 20 时 850 hPa 水汽通量散度值 $\leq -2 \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的辐合中心与暴雨区相对应; 而对应的 700 hPa 水汽通量散度值却为 $(0 \sim 1) \times 10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, 水汽辐散。由此可见, 这次暴雨过程, 850 hPa 水汽条件起主要作用。

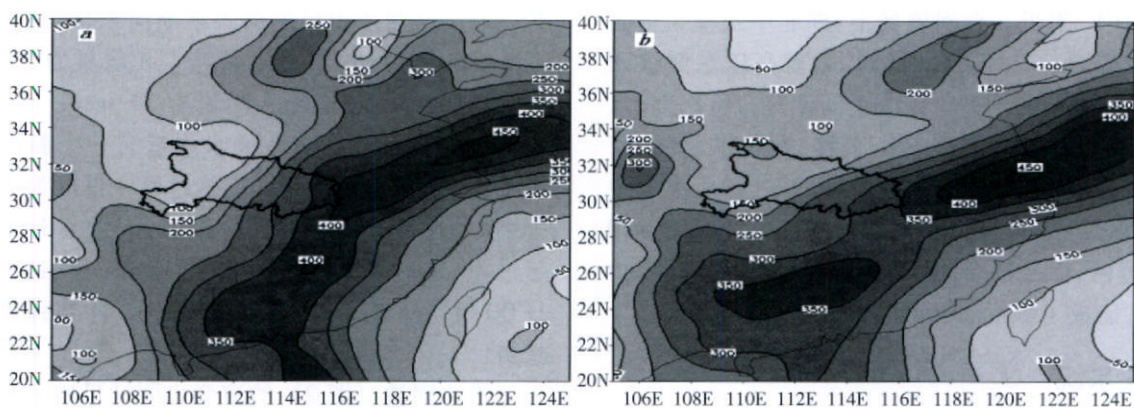


图 3 6 月 30 日 20 时(a)和 7 月 1 日 20 时(b) Σ 水汽通量(500+700+850)场

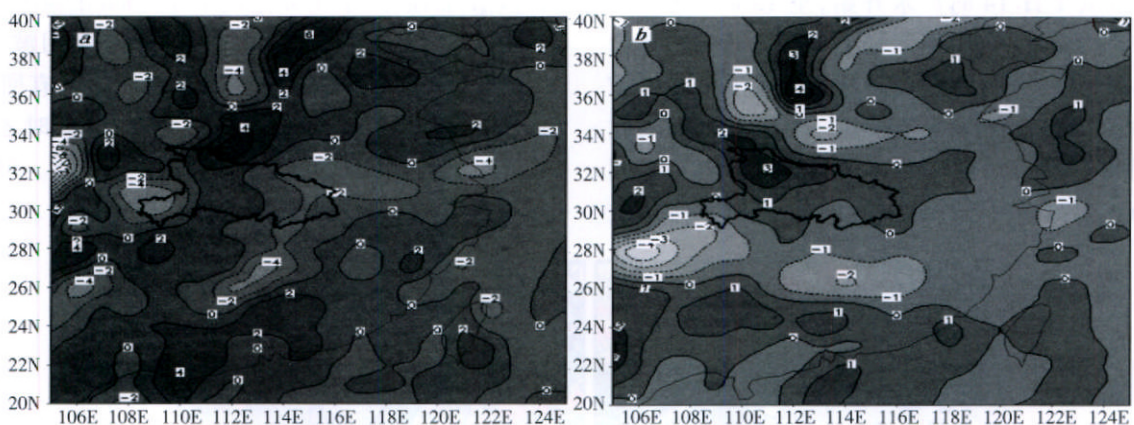


图 4 7 月 1 日 20 时 850 hPa(a)和 700 hPa(b)水汽通量散度场 (单位: $10^{-7} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$)

6 干冷空气对暴雨的作用

6.1 冷空气对暴雨的动力作用

在江淮流域梅雨期间, 干冷空气的活跃与暴雨过程相对应。干冷空气来源于中高纬度和中高层, 当它南下或下降到达江淮流域以北或上空时, 与北上的暖湿气流交汇, 使得暴雨产生和发展^[7]。本次暴雨过程有明显的干冷空气侵入江淮流域, 与副热带高压外围的西南暖湿气流交汇, 激发对流层中低层对流不稳定的产生和发展。

在垂直风场(v)和相对湿度垂直剖面(rf , 沿 114 °E)图上 (图略), 6 月 30 日 20 时, 南北风垂直切变线(0

线)位于 34 °N 以北, 南面有 $v \geq 12 \text{ m/s}$ 的南风急流存在, 同时 $rf < 60\%$ 的干区侵入到 600 hPa 高度附近; 7 月 1 日北面北风加强, 到 20 时北风中心 $v \leq 14 \text{ m/s}$, 南风急流中心 $v \geq 14 \text{ m/s}$, 南北风强度相当, 切变线垂直位于 32 °~34 °N (暴雨区), $rf < 60\%$ 的干区侵入到 850 hPa 高度附近。干冷、暖湿气流在此对峙, 导致该地区强烈的对流不稳定发生和发展。

6.2 冷空气对暴雨的热力作用

江淮流域梅雨期干冷空气的侵入对暴雨的产生发展起着重要的动力作用, 除此之外, 它还能够调整湿度场的结构, 产生热力效应。

定义 500、700 和 850 hPa 温度露点差之和 $\sum(T-T_d)_{(500+700+850)} \leq 10$ 为饱和的湿空气, $\sum(T-T_d)_{(500+700+850)} \geq 20$ 为干空气或未饱和的湿空气。6月30日08时, 与华北冷涡槽后偏北气流位置相对应的 $\sum(T-T_d)_{(500+700+850)} \geq 20$ 干冷空气位于 35°N 以北、108°E 以西的西北地区; 20时, 干冷空气向东南侵入到鄂西以北, 且 $\sum(T-T_d)$ 等值线密集, 陕西南部、河南西部一带存在着明显的东西走向的 $T-T_d$ 湿度锋区(图5), 由于没有水汽辐合, 在湿度锋区南面的水汽饱和区没有出现明显的强降水。7月1日08时, 干冷空气继续东移, $T-T_d$ 湿度锋区经河南东扩到安徽北部, 在锋区南面开始出现强降

水。20时以后, 随着强降水的持续发展, 干区向北收缩到河南北部, 但暴雨区北侧仍有 $T-T_d$ 湿度锋区存在, 为强降水的发生发展提供能量。湿度锋区不仅能为强降水的发生发展提供能量, 还触发了上述中尺度系统的发生, 出现强对流天气。

500、700 和 850 hPa 假相当位温 Q_e 之和的演变(图5)也同样说明了类似的事实。用 $\sum Q_{e(500+700+850)}$ 来分析大气中能量的分布特征, Q_e 高值区为高能区, Q_e 场等值线密集区为能量锋区^[9]。6月30日至7月2日, 湖北中南部为 Q_e 高值区, Q_e 能量锋区的位置和变化与上述 $T-T_d$ 湿度锋区一致, 暴雨出现在 Q_e 能量锋区的南侧。

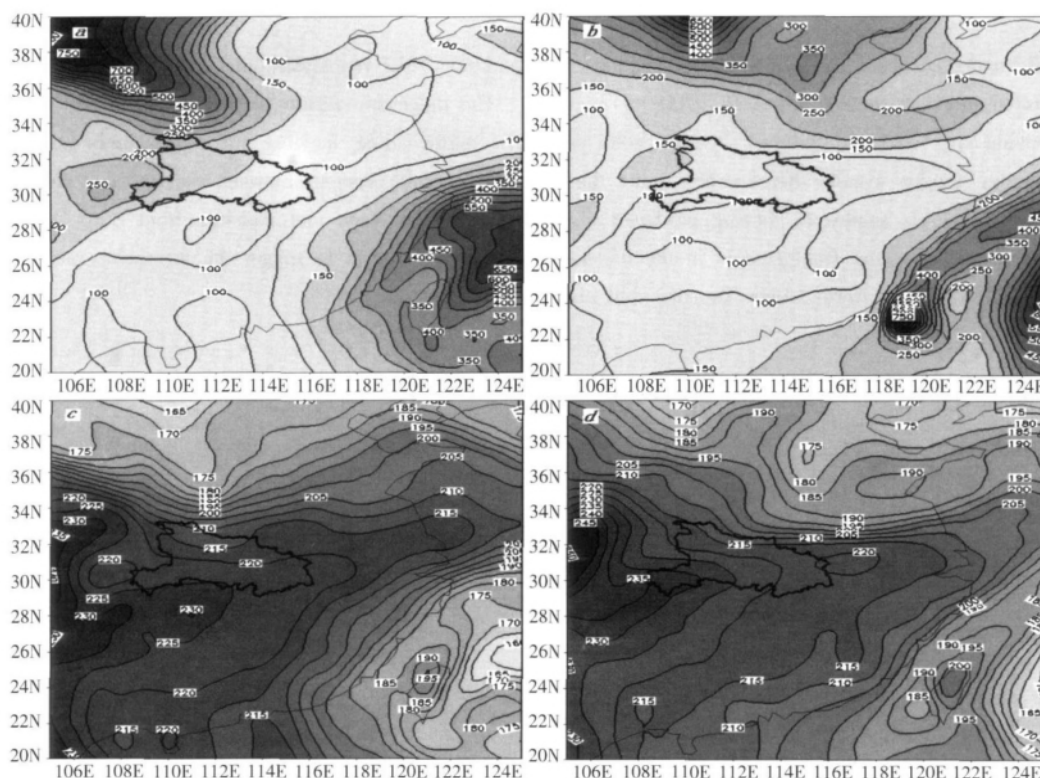


图5 $\sum(T-T_d)_{(500+700+850)}$ 和 $\sum Q_{e(500+700+850)}$ 演变图

(a) 6月30日20时 $\sum(T-T_d)_{(500+700+850)}$; (b) 7月1日20时 $\sum(T-T_d)_{(500+700+850)}$

(c) 6月30日20时 $\sum Q_{e(500+700+850)}$; (d) 7月13日20时 $\sum Q_{e(500+700+850)}$

湿度锋和能量锋不仅为强降水的发生发展提供了能量, 当能量锋区进入低层辐合区时, 造成了明显的能量锋锋生, 触发了其南侧中尺度系统的发生发展, 导致强对流天气的出现。

7 结论

(1) 华北冷涡带动干冷空气南下, 与副热带高压外围的暖湿气流在江淮流域交汇是形成该次暴雨的主要原因。

(2) 低层辐合流场上空有辐散流场叠加置, 湿空气抬升力加大, 造成了该次强对流性天气的发生。

(3) 副高外围强的西南气流和低层西南急流为该

次暴雨的发生提供了充足的水汽条件。

(4) 干冷空气南侵为暴雨的发生发展提供了动力和热力条件, 在暴雨区北侧形成了明显的 $T-T_d$ 湿度锋和 Q_e 能量锋, 不仅为暴雨的发生提供了能量, 还在低层辐合的有利形式下造成了能量锋的锋生, 触发了中尺度系统的发生发展, 造成了这次强对流天气过程。

参考文献:

- [1] 胡伯威, 彭广. 暖切变型江淮梅雨锋结构及其形成和维持机制[J]. 大气科学, 1996, (7): 463-472.
- [2] 寿绍文, 李耀辉, 范可. 暴雨中尺度气旋发展的诊断分析[J]. 气象学报, 2001, 59(6): 560-568.

- [3] 翟国庆.对流层高层偏北气流在梅雨暴雨中的作用[J].气象学报, 1998, 56(1): 68- 76.
- [4] 丁治英, 张兴强, 寿绍文.南亚高压与偏北风急流出口区的暴雨生成机制[J].应用气象学报, 13(6): 671- 678.
- [5] 张小玲, 陶诗言, 张庆云.1998 年梅雨锋的动力热力结构分析[J].应用气象学报, 2002, 13(3): 257- 268.
- [6] 矫梅燕, 毕宝贵, 鲍媛媛, 等.2003 年 7 月 3~4 日淮河流域大暴雨结构和维持机制分析[J]. 大气科学, 2006, 30(3):475- 490.
- [7] 姚秀萍, 于玉斌.2003 年梅雨期干冷空气的活动及其对梅雨降水的作用[J].大气科学, 2005, 29(6): 973- 985.
- [8] 姚秀萍, 吴国雄, 赵兵科, 等.与梅雨锋上低涡降水相伴的干侵入研究[J].中国科学辑, 2007, 37(3): 417- 428.
- [9] 施望芝, 金琪, 刘静, 等.湖北省春季暴雨落区数值预报模型和指标[J].气象科技, 33(4), 300- 304.

Diagnostic Study of a Heavy Rain Caused by Cold Vortex in North China

LI Yin-e, SHEN Wei, ZHANG Ping-ping
(Wuhan Central Meteorological Observatory, Wuhan 430074)

Abstract: By using conventional data, automatic stations data and the T213 reanalysis data with resolution $1^{\circ} \times 1^{\circ}$; the heavy rain process in Hubei province during July 1~2, 2007 is analyzed. The diagnostic results show that the heavy rain developed for the southward moving dry cold air induced by the cold vortex in north China meeting the warm and moist stream around subtropical high in the Yangtze-Huaihe River valley under the favorable synoptic systems between the upper, middle and low levels. In addition, the dry cold air southward moving produced obvious energy front zone and moisture front zone in the north of the rainstorm area, and caused moisture frontogenesis in the low-level convergence region to trigger the mesoscale heavy rain.

Key words: Cold Vortex in North China; The dry cold air; Moisture front air